

地盤バネの有無による斜材付きπ型ラーメン橋の残留変位の影響

第一復建株式会社 正 員 ○李 重桓
 第一復建株式会社 正 員 千々岩 浩巳
 第一復建株式会社 田中 俊昌

1. はじめに

構造物の耐震性能を高めるためには、適切なじん性によるエネルギー吸収性能が必要であり、強度を向上させるのみでは限界がある。しかし、過大な変形性能による耐震設計は残留変位が大きくなる原因にもなり、地震後の構造物の機能回復・修復に影響を及ぼす。したがって、部材強度およびじん性のバランスのとれた耐震性能が重要視され、道路橋示方書には稀に発生する大規模な地震に対する重要度が高い構造物の耐震設計として、耐力の照査に加え、残留変位の照査を原則としている¹⁾。しかしながら、本解析モデルのようなラーメン橋梁についての残留変位の照査方法は、動的解析はもちろん、静的解析に基づく地震時保有水平耐力法にも具体化されていないのが現状である。また、残留変位に及ぼす地盤条件の影響についても未解明な点が多く、直接基礎の場合でも地盤の減衰効果などを考慮せずに設計上の簡便性の理由から地盤条件を固定にした解析を行うこともある。

そこで、本論文では直接基礎を有する斜材付きπ型ラーメン橋を対象にし、地盤条件(固定またはバネ)を変化させ、時刻歴応答による非線形動的解析(以下、動的解析と略称する。)および荷重漸増による静的解析(以下、静的解析と略称する。)を行い、解析手法および地盤条件の違いによる残留変位の変化について比較検討を行った。

2. 解析モデルと解析条件

対象橋梁の解析モデルを図-1に、各部材に用いた非線形モデルを表-1に示す。上部工は上下の非対称性を考慮して正負非対称型バイリニアモデルを用いた。なお、上部工と斜材・垂直材との結合部付近およびフーチングは剛域としてモデル化した。

動的解析に用いた下部工の復元力特性は、RC部材の復元力特性を良好にモデル化している剛性低減トリリニア型の武田モデル(図-2)を用い、上部工はPC部材であるため、復元力を持たないものとした。地盤の減衰は地下逸散減衰効果などを考慮して20%に設定した。また、兵庫県南部地震で得られたI種地盤における3つの波形を入力地震動とし、減衰の設定は固有値解析結果に基づいて算出した全体Rayleigh型を用いた。固有値解析結果を表-2に示す。

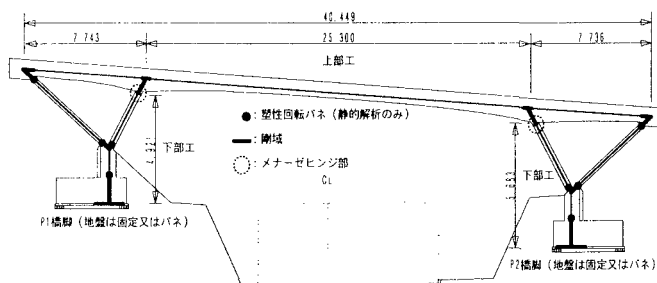


図-1 解析モデル(単位:m)

表-1 各手法の用いたモデル

	上部工	下部工
動的解析	非対称型バイリニアモデル	武田モデル
静的解析	完全弾塑性型バイリニアモデル	

表-2 固有値解析の結果

		動的解析		静的解析
		固定	バネ	バネ
第1次	Sec	0.293	0.356	0.387
	Hz	3.575	2.810	3.159
	有効質量	55.0	73.0	73.0
	減衰(%)	4.506	10.662	—
第2次	Sec	0.071	0.124	0.137
	Hz	14.144	8.053	7.289
	有効質量	14.0	21.0	18.0
	減衰(%)	4.580	11.512	—

表-3 各手法の残留変位結果(cm)

		固定	バネ	比率
動的解析	神戸N-S	0.601	0.044	13.659
	神戸E-W	2.254	0.477	4.725
	猪苗川N-S	0.747	0.340	2.197
静的解析	(+)	1.940	3.368	0.576
	(-)	2.196	3.792	0.579
静的/動的		1.722	12.474	—

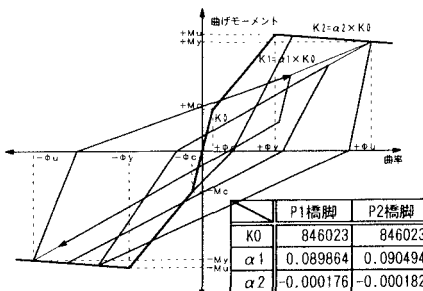


図-2 武田モデル(表中は初期剛性と剛性低下率)

静的解析では、上部工および地盤条件を動的解析と同様とし、下部工については完全弾塑性型のバイリニアモデルを用い、図-1 に示すように塑性ヒンジが発生すると予想される箇所に塑性回転バネを設けた。また、固有値解析を行うときの地盤条件は、地盤の動的せん断弾性波速度などを考慮した地盤バネを用いた。

3. 解析結果と考察

表-3 に得られた残留変位を示す。静的解析における残留変位は式(1)に基づいて算出した。なお、式(1)は完全弾塑性型バイリニアモデルの履歴特性を有する RC 橋脚の設計用として与えられた残留変位応答スペクトル²⁾に基づいたものである。

一方、動的解析では入力地震動の後に 10 秒間の自由振動させたのちの変位を残留変位とした。

(1)解析手法の違いによる残留変位

静的解析の残留変位は動的解析より大きくなる傾向がみられ、動的解析の残留変位の約 1.7 倍（地盤固定）、12.5 倍（地盤バネ）程度である。静的解析では部材の復元力特性がないことと、地盤バネによる弾性変形の影響が残留変位に加えられたことによって動的解析より大きな残留変位が生じたものと思われる。地震後に生じる残留変位は様々な要因（復元力モデル、固有周期、応答塑性率、入力地震動、剛性低下比など）によって変化すると考えられ³⁾、本解析ではその要因の 1 つに各解析手法に用いた復元力特性の違いがあげられると思われる。動的解析による残留変位補正係数は式(2)から算出し、武田モデルを用いたときの各入力地震動および地盤条件による c_R を表-4 に示す。神戸 E-W 地震動の地盤固定の場合を除けば、静的解析で用いている c_R (=0.6)より小さいので、結果的に残留変位が小さくなることがわかる。

(2)地盤条件の違いによる残留変位

動的解析の場合には、すべての地震動で地盤固定の方が大きい残留変位を示している。これは、地盤固定では地盤バネおよび地下逸散減衰効果などが考慮されていないため、橋脚基部での塑性変形がより進展したためであると思われる。図-3 に地盤固定としたときの各地震動による時刻歴応答変位を示す。図中の最大応答変位に比べて地震後に生じる残留変位はばらつきが顕著であり、地震動の特性によって残留変位に大きな変化がみられる。したがって、動的解析による耐震設計を行う場合には、残留変位のみに着目してみても特性が異なる 3 つの入力地震動を用いることが望ましいと思われる。

一方、静的解析の残留変位は動的解析と異なり、地盤バネで地盤固定の 1.7 倍程度の残留変位が生じている。これは、地盤バネの弾性変形がそのまま残留変位に加えられたことがその主要原因であると思われる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成 8 年 12 月。
- 2) 星隈：地震時保有水平耐力法による鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計法の開発に関する研究，平成 10 年 1 月。
- 3) 尾山，矢部：剛性低下型バイリニア履歴特性における残留変位に関する検討，第 2 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集（1998 年 12 月），pp.263-270。

表-4 武田モデルによる残留変位補正係数(cm)

		δ_R	δ_{max}	δ_y	μ	c_R
固定	神戸 N-S	0.601	2.684	0.736	3.647	0.224
	神戸 E-W	2.254	3.368	0.736	4.576	0.669
	猪名川 N-S	0.747	2.535	0.736	3.444	0.295
バネ	神戸 N-S	0.044	3.503	1.760	1.990	0.013
	神戸 E-W	0.477	4.221	1.760	2.398	0.113
	猪名川 N-S	0.340	4.166	1.760	2.367	0.082

$$\delta_R = c_R(\mu - 1)(1 - r)\delta_y \quad \text{式(1)}$$

$$c_R = |\delta_R / \delta_{max}| \quad \text{式(2)}$$

$$\mu = \delta_{max} / \delta_y, \quad r = K_1 / K_2$$

δ_R ：残留変位， δ_{max} ：最大応答変位

δ_y ：降伏変位， c_R ：残留変位補正係数

μ ：最大応答塑性率， r ：剛性低下比

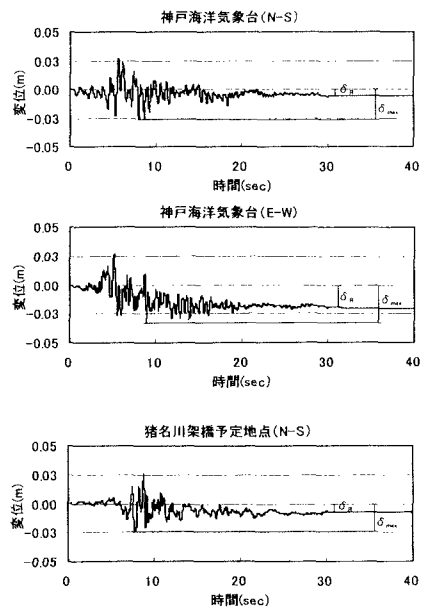


図-3 各地震動による応答変位(地盤固定)